INFORMATIQUE ET FORESTERIE : L'EXPÉRIENCE AMÉRICAINE

G.-L. MARTIN - J. BUONGIORNO

Les forestiers américains ont toujours été confrontés au problème d'inventorier et d'aménager des forêts de surface considérable avec relativement peu de personnel. Pour cela, ils ont été naturellement conduits à se saisir des découvertes scientifiques et techniques qui promettaient de rendre leur travail plus facile, efficace, ou tout simplement possible. En particulier, les forestiers américains ont souvent été à la pointe des applications en statistiques, et en sciences et techniques de l'informatique, même dans leur pays. Le but de cet article est de faire une revue, nécessairement très brève, de quelques applications typiques des ordinateurs en foresterie aux États-Unis.

ANALYSE DES DONNÉES AVANT 1960

Les premiers ordinateurs à transistors ont commencé à apparaître au début des années soixante. Avant cela, les forestiers avaient besoin d'un temps considérable uniquement pour compiler des données d'inventaire et pour les résumer par des statistiques très simples. On critiquait les mesureurs pour leur tendance à saisir une grande quantité de données de terrain sans penser au temps qu'il faudrait pour les élaborer et tester les résultats. Dunston et Garvey (1916) estimaient qu'il fallait quatre-vingts jours de travail à deux personnes pour agréger les données d'environ 4 000 fiches de mesures. Afin d'accélérer ce travail, ils proposèrent l'utilisation d'une machine à calculer et d'un appareil simple pour lire les fiches de mesures et les tarifs de cubage. Les fiches et les tarifs tenaient sur une étagère spéciale avec règle mobile pour faciliter la lecture des chiffres. Une personne lisait le volume des arbres à partir du tarif, tandis que l'autre ajoutait les chiffres avec la machine à calculer (mécanique). De cette façon, le temps nécessaire pour dépouiller 4 000 fiches de mesures était réduit à trente jours.

Le travail et le temps nécessaires pour compiler l'information sur les ressources forestières étaient tellement décourageants que Behre (1925) trouva nécessaire d'introduire une note d'optimisme. Il écrivit que l'époque où il fallait synthétiser les données de terrain mentalement et à la main était révolue. Le développement et l'adoption répandue de machines à calculer et, plus récemment, d'ordinateurs à cartes, ouvraient la porte à une analyse plus rigoureuse des données de terrain, à la vérification systématique des résultats, et à l'application de méthodes statistiques. En fait, ces machines étaient encore bien limitées et les forestiers devaient se contenter d'outils graphiques (Krauch, 1920) ou de la règle à calcul (Stahelin, 1939) pour les calculs les plus compliqués concernant la croissance et la production.

Néanmoins, vers le milieu des années cinquante, de nombreuses entreprises forestières se servaient d'ordinateurs et tableurs à cartes IBM. Knox (1956) décrit une méthode d'inventaire mise en place sur les forêts d'État du Minnesota. L'information provenant du terrain était enregistrée sur cartes perforées à partir des fiches de mesures. L'inventaire était élaboré entièrement avec du matériel IBM. Avec ces ordinateurs et tableurs, ils obtenaient des statistiques qui n'étaient pas communément disponibles dans d'autres inventaires.

Vers 1960, l'utilisation d'ordinateurs et tableurs à cartes perforées était très avancée. Thorton (1962) montre comment les photographies aériennes et l'élaboration moderne de données étaient alors appliquées dans l'aménagement de la forêt nationale Chippewa dans le centre-nord du Minnesota. La forêt était divisée en 1 114 parcelles groupées en huit unités administratives. Une carte perforée représentait chaque parcelle et passait par un calculateur IBM 604 pour obtenir la surface de chaque peuplement. Les cartes étaient ensuite triées par type de végétation, surface et densité, et tablées pour résumer les conditions de chaque parcelle et district. Ces résultats, couplés aux photographies aériennes sur lesquelles étaient marqués les peuplements et les parcelles, servaient ensuite de base pour décider l'aménagement.

Tout était prêt pour l'introduction des gros ordinateurs électroniques à transistors.

LES GROS ORDINATEURS DES ANNÉES 60

Après le remplacement des lampes cathodiques par les transistors, les gros systèmes devinrent des outils pratiques pour le commerce, les sciences et les techniques de l'ingénieur au début des années soixante. Il s'agissait toutefois de machines encombrantes et coûteuses demandant un personnel technique à plein temps pour leur exploitation et leur entretien, de sorte que leurs applications en foresterie étaient en général limitées aux grands organismes publics et aux grandes universités. Les petites entreprises devaient encore se contenter de calculatrices, ou de matériel simple de tri et de mise en tableau des données.

Néanmoins, les scientifiques et les étudiants qui avaient accès à ces ordinateurs découvrirent que c'était un outil merveilleux pour faire des calculs, en particulier de statistiques, qui étaient auparavant pratiquement impossibles. Une de ces applications, l'analyse par régression, s'avéra extrêmement utile en foresterie. Avec les nouveaux ordinateurs, les données de terrain qui avaient été accumulées pendant des années purent finalement être exploitées à fond. Des relations compliquées entre plusieurs variables pouvaient être étudiées et mesurées. Ainsi, des équations empiriques furent développées pour prédire le volume des arbres, la fertilité de la station, la croissance et la productivité des peuplements. Une des premières applications de l'analyse de régression sur ordinateur fut l'étude de la croissance du Pin rouge (*Pinus resinosa* Ait.) par Buckman (1962). Elle était basée sur des données provenant de 235 placettes, remesurées, dans des peuplements plus ou moins éclaircis, du Minnesota. L'essentiel de l'approche statistique de Buckman était une régression multiple reliant les variables indépendantes : âge du peuplement, qualité de la station, et surface terrière, à l'accroissement annuel net en surface terrière. Les accroissements en volume étaient ensuite dérivés de l'accroissement en surface terrière. L'analyse de régression était faite sur un ordinateur IBM 650, à tambour. Les résultats de cette étude permirent aux forestiers de prédire la production des éclaircies et des coupes finales pour des peuplements de Pin rouge dans des conditions variables de fertilité des stations et pour divers modes d'aménagement. Les équations et les tables de Buckman sont encore utilisées aujourd'hui.

Plusieurs ingénieurs et scientifiques forestiers apprirent à programmer des gros systèmes avec les nouveaux langages symboliques tel que le FORTRAN. Ces langages permirent le développement de logiciels spécialisés pour des applications en foresterie. L'un des logiciels notables écrits à cette époque fut FINSYS (Frayer *et al.*, 1968), pour dépouiller les données des grands inventaires forestiers. Son développement commença durant l'automne de 1961 à la Station expérimentale du Nord-Est, et le logiciel fut ensuite adopté par le Service forestier national pour les inventaires nationaux et locaux. Le logiciel était conçu de sorte que les tables résumant les inventaires étaient calculées et imprimées en forme publiable, et les chiffres de toutes les tables

avaient leur écart type. Le logiciel était flexible, pour s'adapter à différents objectifs, méthodes d'échantillonnage, et tableaux de résultats. FINSYS était écrit en FORTRAN IV sur l'IBM 7094/7040 de l'Université de Yale.

Vers la fin des années soixante, un développement majeur de la technologie informatique, le partage du temps d'ordinateur, permit à de petits bureaux forestiers d'accéder aux ordinateurs, à des coûts raisonnables. Le partage du temps donnait à plusieurs utilisateurs un accès simultané à un gros ordinateur à partir de terminaux éloignés reliés par des lignes téléphoniques ordinaires (à l'époque, la plupart des ordinateurs appartenaient au gouvernement, à quelques grandes industries et aux universités : ils se trouvaient dans les villes). Par exemple, des responsables de la lutte contre l'incendie de la Division Forêt de Californie, à San Bernardino, pouvaient signaler la localisation d'un feu à un ordinateur à 120 km, à Los Angeles, et recevoir en moins d'une minute une information sur les équipements recommandés de lutte contre l'incendie, les meilleures routes, et le temps nécessaire pour arriver à l'incendie (Davis et Nickey, 1970).

En fait, la vitesse et la puissance de calcul des ordinateurs enflammèrent très tôt l'imagination des ingénieurs et scientifiques forestiers. En plus des applications évidentes aux inventaires et aux statistiques, ces derniers virent très tôt le potentiel des ordinateurs pour analyser des problèmes compliqués d'aménagement. La recherche opérationnelle, application de modèles mathématiques à la gestion, commencée durant la Deuxième Guerre mondiale, mais qui ne prit vraiment son essor qu'avec le développement des ordinateurs électroniques, fut introduite en foresterie vers 1960. Ici le secteur privé prit l'initiative, et une des premières applications de la programmation linéaire à l'aménagement fut celle de la Buckeye Co. pour planifier la transformation des forêts feuillues naturelles en plantations de pins (Curtis, 1962). Mais le secteur public suivit très vite, avec des logiciels spécialisés pour la détermination de la séquence optimale des coupes (Chappelle, 1966), avec des critères souvent économiques, mais aussi, déjà, écologiques (Ripley et Yandle, 1969). En même temps, la simulation était introduite dans l'enseignement de l'aménagement forestier (Gould et O'Reagan, 1965), tandis que les chercheurs travaillaient sur des concepts avancés, tels que le traitement du risque par des modèles markoviens (Hool, 1966), posant ainsi des bases solides pour les applications nombreuses des deux décennies suivantes.

MINI-ORDINATEURS DES ANNÉES 70

Les progrès des technologies informatiques durant les années soixante-dix continuèrent non seulement à augmenter la vitesse et la capacité des gros systèmes, mais produisirent aussi des ordinateurs plus petits et meilleur marché. Cette augmentation de la puissance des ordinateurs et aussi de leur accessibilité induisit le développement de plus en plus d'applications en foresterie.

L'utilisation de l'informatique et des techniques mathématiques pour l'analyse des problèmes d'aménagement forestier reçut en quelque sorte la bénédiction de la famille des forestiers en 1972 par la création du Groupe de Travail pour l'Analyse des Systèmes au sein de la Société des Forestiers américains. Ce groupe aida à la collaboration entre les chercheurs et ingénieurs qui exploraient et développaient des méthodes nouvelles pour aider les administrateurs forestiers dans leurs décisions. Ainsi fut commencée, en 1973, l'Étude sur les Ressources en Bois de l'Oregon, motivée par la crainte d'une diminution de la production de cet État, consécutive à l'épuisement de la « mine » des forêts primaires. Cette étude rassembla des ingénieurs forestiers et des experts en simulation qui produisirent le Modèle des Ressources en Bois de l'Oregon (Johnson *et al.*, 1975). Ce modèle sur ordinateur donnait des prévisions à long terme des

changements du volume des coupes, et de leur contribution à l'économie des cantons de l'Oregon. Le modèle représentait divers scénarios concernant les changements d'utilisation des terres, la croissance des forêts, et les politiques de contrôle des coupes de bois. Le modèle était aussi capable de simuler les coupes de bois à plusieurs niveaux administratifs, d'appliquer des contrôles de coupes reflétant de nombreux objectifs, et de prévoir les inventaires correspondants. Sur un ordinateur Control Data 6400 le modèle prenait trois heures pour faire les prévisions pour dix bassins versants.

Les techniques d'analyse des systèmes furent encore plus naturellement appliquées aux opérations d'exploitation forestière. Gustafson et Schenck (1975) décrivent l'utilisation du logiciel « Simulation de Systèmes d'Exploitation » (développé par le Projet de Recherche de l'Association américaine pour les Bois de Pâtes) et du logiciel « Simulation de la Mission des Véhicules » (développé par le Centre technique John Deere et Co., Molline, Illinois) pour résoudre divers problèmes concernant le choix des équipements d'exploitation forestière. Le logiciel « Simulation de Systèmes d'Exploitation » était utilisé pour évaluer et comparer les équipements d'exploitation existants, ainsi que ceux en voie de développement. Le logiciel permettait de comparer un système travaillant dans divers peuplements, ou plusieurs systèmes différents dans un même peuplement. Le logiciel « Simulation de la Mission des Véhicules » servait à prédire les vitesses moyennes des machines pour diverses charges en grumes, sols et pentes de terrain. Ces simulateurs étaient aussi utilisés pour former les chefs des opérations d'exploitation et leur personnel, pour les aider à optimiser la performance de leurs systèmes, tout en évitant d'abîmer les arbres laissés en place.

Un nouveau type de modèle de croissance des forêts apparut durant les années soixante-dix, le modèle basé sur l'arbre individuel. Les modèles de ce genre étaient réalisables du fait de la possibilité de faire des calculs extrêmement longs à des vitesses raisonnables sur les nouveaux ordinateurs. Ces modèles simulent la croissance d'une forêt à partir du comportement de chaque arbre. Un exemple est FOREST, un logiciel destiné à simuler la croissance et la reproduction des arbres sur des placettes de forêts comportant une ou plusieurs essences, équiennes ou jardinées (Ek et Monserud, 1974). FOREST tenait compte de divers facteurs déterminants du développement d'un peuplement forestier, tels que la production, la dispersion et la germination des graines, la compétition et la mortalité, ainsi que la densité et les altérations de la station causées par les pratiques sylvicoles. Chaque simulation partait d'un groupe d'arbres, réels ou simulés, dispersés sur le terrain. La croissance de chaque arbre par unité de temps était prédite par des équations dont l'une des variables était la densité du peuplement. Un arbre mourait quand sa croissance tombait sous un seuil déterminé, tandis que la reproduction provenait de graines ou de rejets. Le but de FOREST était essentiellement de prédire la réponse des peuplements à différents traitements sylvicoles.

Une autre application informatique qui tira parti de la vitesse de calcul des ordinateurs fut la simulation des méthodes d'échantillonnage (Myers et Malmquist, 1979 ; Pelz, 1976). Des algorithmes pour la génération de nombres au hasard sur ordinateur étaient utilisés pour simuler et tester différentes formes de placettes, types d'échantillonnage, et nombre d'échantillons. En générant un grand nombre de moyennes et autres statistiques, il devint possible de comparer la précision relative de différentes méthodes d'échantillonnage, pour des forêts de structures et de distributions spatiales diverses.

Vers la fin des années soixante-dix, les progrès dans l'intégration des circuits d'ordinateurs produisirent le premier microprocesseur « puce », marquant le début de l'informatique personnelle, qui s'est épanouie au cours des années quatre-vingts. Les ordinateurs personnels avec des logiciels sophistiqués, liés en réseaux entre eux, à d'autres ordinateurs puissants, et à des banques de données, furent bientôt sur chaque bureau et dans tous les services forestiers.

ORDINATEURS PERSONNELS DES ANNÉES 80

Les forestiers américains eurent tôt fait d'explorer et de développer des applications pour la technologie nouvelle des ordinateurs personnels. L'un des premiers logiciels intégrés pour la planification de l'aménagement forestier fut le Système de Planification et Analyse des Bois, WOODLAND (Harrison, 1982). Il y avait trois types d'application forestière dans les logiciels de WOODLAND :

— ceux qui décrivaient l'état des ressources forestières à un moment donné,

— ceux qui modélisaient le développement de la forêt au cours du temps (modèles de croissance et production), et

— ceux qui optimisaient les activités forestières.

Ces logiciels avaient pour but de fournir aux forestiers des moyens informatiques bon marché, étaient écrits en FORTRAN IV standard, et pouvaient être utilisés sur la plupart des ordinateurs personnels disponibles à cette période. Comme de nombreux forestiers n'avaient aucune expérience en informatique, il était important de rendre ces logiciels faciles à apprendre et utiliser. La convivialité devint un critère important pour le développement des logiciels sur ordinateur personnel.

Certains des logiciels pour gros systèmes utilisés en foresterie furent transférés sur ordinateur personnel, les rendant ainsi plus accessibles aux forestiers. Un exemple notable de cette approche est le Système idéal de Projection de la Croissance pour Forestiers, TWIGS (Belcher, 1982). TWIGS est la version pour ordinateur personnel du logiciel STEMS, un modèle de croissance et production sur gros système développé à la Station expérimentale Centre-Nord. TWIGS offre une approche souple pour simuler la croissance, la mortalité, et la coupe des arbres, destinée en particulier à l'analyse de peuplements mélangés. Un exemple de logiciel plus spécialisé, pour la simulation et l'optimisation de forêts monospécifiques irrégulières est le programme UNEVEN, initialement développé sur mini-ordinateur, mais qui fonctionne couramment sur micro-ordinateur IBM ou MacIntosh (Boothby et Buongiorno, 1985).

Tandis que l'utilisation des ordinateurs personnels se répandait à travers tout le secteur forestier des États-Unis durant les années quatre-vingts, un grand nombre d'applications furent écrites pour eux, surtout par le Service forestier national et par les universités. Au début des années quatre-vingts, l'Institut pour les Systèmes en Ressources forestières, FORS, fut constitué pour aider à la promotion, la distribution, et l'aide à l'utilisation de logiciels sur ordinateurs personnels pour la foresterie. Les logiciels distribués par FORS doivent satisfaire des critères rigoureux. Ils doivent être faciles à utiliser, et accompagnés d'une documentation qui explique les applications et le mode d'emploi du logiciel.

Bien que les ordinateurs personnels aient alors pris une place privilégiée en foresterie, les gros systèmes étaient encore nécessaires pour traiter des problèmes avec de nombreuses variables, ou de nombreuses données. Par exemple, durant les années quatre-vingts, le Service forestier national commença à préparer des plans d'aménagement à objectifs multiples pour chacune de ses 122 unités administratives, en accord avec l'Acte national pour l'Aménagement forestier. L'outil principal pour développer les plans forestiers était un système de programmation linéaire appelé FORPLAN (Johnson, 1986), qui avait été développé sur l'ordinateur Sperry-Univac du Service forestier national à Fort-Collins, Colorado, machine qui servit aussi au calcul des plans d'aménagement pour toutes les Forêts nationales.

La planification de l'aménagement avec FORPLAN comporte trois étapes. En premier, le Générateur matriciel de FORPLAN est utilisé pour mettre les données définissant les contraintes et les objectifs du plan en forme de programme linéaire. La solution est ensuite calculée avec le logiciel de programmation mathématique Sperry FMPS. Enfin, la solution est résumée dans des

tableaux réalisés avec le Générateur de Rapports de FORPLAN. Chaque modèle produit par FORPLAN décrit une alternative de planification, c'est-à-dire une façon possible de gérer une unité administrative sur un horizon typiquement de l'ordre de 150 ans.

Durant cette même période, sont aussi apparus des modèles pour la prévision et la planification du secteur forestier au niveau national, tels que le modèle TAMM pour le secteur sciages et panneaux (Adams et Haynes, 1980), et PAPYRUS pour le secteur pâtes et papiers (Gilless et Buongiorno, 1987). Développés initialement sur gros systèmes, ces modèles fonctionnent couramment sur micro-ordinateur. Buongiorno (1990) donne une revue plus détaillée, en français, de ces applications de l'informatique et de l'économétrie à la filière-bois aux États-Unis.

Les années quatre-vingts virent un grand nombre de développements nouveaux en informatique qui se traduisirent par des applications en foresterie. Par exemple, les chercheurs forestiers commencèrent à explorer l'utilisation des systèmes experts et de l'intelligence artificielle pour résoudre des problèmes spécifiques à l'aménagement forestier (Mills, 1985). Dans une étude particulière, un système expert, PREDICT, était développé pour le diagnostic des maladies des plantations de Pin rouge *(Pinus resinosa)* au Wisconsin (Schmoldt et Martin, 1989). PREDICT reconnaît vingt-huit agents, mammifères, insectes et pathogènes. Le logiciel fonctionne sur des ordinateurs personnels IBM, ou compatibles, et est destiné à des forestiers sans formation spéciale en pathologie ou en entomologie. Au cœur de PREDICT se trouve une base de connaissances fondée sur la littérature et sur l'expérience d'experts pathologistes et entomologistes. Les entrées du logiciel sont basées sur des rapports spécifiant les conditions du peuplement, les symptômes observés, et les signes de dommages subis. Le diagnostic de PREDICT consiste en une liste des causes possibles, avec une estimation de la précision du diagnostic. Des tests expérimentaux ont montré que PREDICT pouvait améliorer de façon significative les diagnostics des forestiers, jusqu'à un niveau comparable à celui d'experts reconnus.

PROSPECTIVE POUR LES ANNÉES 90

Les machines et les logiciels ont changé de façon spectaculaire durant les années quatre-vingts, et il est probable que ces progrès continueront, peut-être même à une allure accélérée. Parmi ces changements, il y a la capacité des ordinateurs à travailler toujours mieux avec des graphiques et des données spatiales. L'application des Systèmes d'Information géographique (SIG) est particulièrement intéressante pour les forestiers. Il s'agit de systèmes de machines et de logiciels spécialisés dans la collecte, la manipulation, l'analyse et la présentation de données géographiques ou spatiales. Plusieurs services forestiers américains ont commencé à construire des bases de données géographiques vers la fin des années quatre-vingts et, aujourd'hui au début des années quatre-vingt-dix, ces bases de données sont en train de devenir des outils importants pour l'analyse des ressources forestières. Par exemple, Maclean *et al.* (1992) se servirent d'une interprétation assistée par ordinateur des images du satellite Landsat Thematic Mapper et de la technologie SIG pour déterminer le taux d'exploitation forestière dans le nord de la péninsule inférieure du Michigan. Ils ont obtenu des images Landsat de la région pour 1986 et 1989, et ont classifié les superficies sur chaque image par type de forêt. Avec un logiciel SIG, ils ont pu déterminer, rapidement et exactement, si la couverture forestière avait changé. L'analyse a montré les zones où des coupes substantielles avaient eu lieu pendant ces trois ans. Le système SIG peut présenter les résultats sous forme de tableaux, ou sur des cartes montrant la localisation des coupes, par type de forêt et catégorie de propriétaire.

Les années quatre-vingt-dix promettent d'être une décennie intéressante pour les applications de l'informatique en foresterie. Ordinateurs plus rapides, et plus puissants, graphiques amé-

liorés, capacités d'enregistrement et de communication en augmentation, progrès des logiciels, tout promet de stimuler des idées nouvelles pour l'application de l'informatique en foresterie. Le plus gros problème des forestiers sera de suivre le développement rapide de ces nouvelles technologies.

G.-L. MARTIN - J. BUONGIORNO
Department of Forestry
UNIVERSITY OF WISCONSIN
1630, Linden Drive
MADISON WI 53706 (USA)

BIBLIOGRAPHIE

ADAMS (D.M.), HAYNES (R.W.). — The 1980 softwood timber assessment market model : structure, projections, and policy simulations. — *Forest Science Monograph*, 22, 1980, 64 p., Myfile 248.

BEHRE (C.E.). — Forest mensuration today. — *Journal of Forestry*, 23, 1925, pp. 287-289.

BELCHER (D.M.). — TWIGS : the woodman's ideal growth projection system. pp. 70-95. In : Microcomputers : an new tool for foresters, Conference Proceedings / J.W. Moser Jr Ed. — Bethesda (Maryland) : Society of American Foresters, 1982. — 159 p.

BUCKMAN (R.E.). — Growth and yield of red pine in Minnesota. — *US Department of Agriculture Technical Bulletin*, 1272, 1962, 50 p.

BOOTHBY (B.), BUONGIORNO (J.). — UNEVEN : a computer model of uneven-aged forest management. — University of Wisconsin-Madison, College of Agricultural and Life Sciences, Resarch Bulletin R 3285, 1985, 63 p.

BUONGIORNO (J.). — Analyse économétrique du secteur forestier : un bilan de l'expérience américaine. — *Cahiers d'Économie et Sociologie rurales*, n° 15-16, 1990, pp. 145-166.

CHAPPELLE (D.E.). — A computer program for scheduling allowable cut using either area or volume regulation during sequential planning periods. — US Department of Agriculture. Forest Service Research Paper PNW 33, 1966. — 9 p.

CURTIS (F.H.). — Linear programming the management of a forest property. — *Journal of Forestry*, vol. 60, n° 9, 1962, pp. 611-613.

DAVIS (J.B.), NICKEY (B.B.). — Computer time sharing : a new tool for foresters. — *Journal of Forestry*, 68, 1970, pp. 21-23.

DUNSTON (C.E.), GARVEY (C.R.). — An efficient system for computing timber estimates. — *Forestry Quarterly*, vol. 14, n° 1, 1916, pp. 1-2.

EK (A.R.), MONSERUD (R.A.). — Trials with program FOREST : growth and reproduction simulation for mixed species even or uneven-aged forest stands, pp. 56-73. In : Growth models for tree and stand Simulation / J. Fries Ed. — Uppsala (Sweden) : International Rural Development Center, Swedish University of Agricultural Sciences, 1974. — 379 p.

FRAYER (W.E.), WILSON (R.W.), PETERS (R.C.), BICKFORD (C.A.). — FINSYS : an efficient data-processing system for large forest inventories. — *Journal of Forestry*, vol. 66, 1968, pp. 902-905.

GILLESS (J.K.), BUONGIORNO (J.). — PAPYRUS : a model of the North American pulp and paper industry. — *Forest Science Monograph*, 28, 1987, 37 p.

GOULD (E.M.), O'REAGAN (W.G.). — Simulation, a step toward better forest management. — Harvard Forest Paper, 13, 1965, 86 p.

GUSTAFSON (M.L.), SCHENCK (D.G.). — Modeling harvesting systems, pp. 257-270. In : Proceedings of a Workshop on Systems Analysis and Forest Management / J. Meadows, B. Barer, K. Ware, C. Row Eds. — Bethesda (Maryland) : Society of American Foresters, 1975. — 57 p.

HARRISON (T.P.). — A general purpose forest inventory system for use on microcomputers, pp. 60-66. In : Microcomputers : a new tool for foresters, Conference Proceedings / J.W. Moser Jr Ed. — Bethesda (Maryland) : Society of American Foresters, 1982. — 159 p.

HOOL (J.N.). — A dynamic programming-Markov chain approach to forest production control. — *Forest Science Monograph*, 12, 1966, 26 p.

JOHNSON (K.N.). — FORPLAN Version 1 : an overview. — Fort Collins (Colorado) : US Department of Agriculture, Forest Service - Land Management Planning Systems Section, 1986. — 85 p.

JOHNSON (N.), SCHEURMAN (L.), BEUTER (J.). — Oregon timber resource model : a brief introduction, pp. 148-163. In : Proceedings of a workshop on systems analysis and forest resource management / J. Meadows, B. Bare, K. Ware, C. Rows Eds. — Bethesda (Maryland) : Society of American Foresters, 1975. — 457 p.

KNOX (R.L.). — Forest inventory for management of state lands in Minnesota. — *Journal of Forestry*, vol. 54, 1956, pp. 123-129.

KRAUCH (H.). — Alinement volume tables. — *Journal of Forestry*, 18, 1920, pp. 831-832.

MAC LEAN (A.L.), REED (D.D.), MROZ (G.D.), LYON (G.W.), EDISON (T.). — Using GIS to estimate forest resource changes, a case study in northern Michigan. — *Journal of Forestry*, vol. 90, n° 12, 1992, pp. 22-25.

MILLS (W.L. Jr). — Expert systems in forest resources management, pp. 349-362. In : The 1985 Symposium on Systems Analysis in Forest Resources / P.E. Dress, R.C. Field Eds. — Athens (Georgia) : Georgia Center for Continuing Education, 1985. — 555 p.

MYERS (C.), MALMQUIST (A.). — Computer sampling simulator, pp. 471-481. In : The 1985 Symposium on Systems Analysis in Forest Resources / P.E. Dress, R.C. Field Eds. — Athens (Georgia) : Georgia Center for Continuing Education, 1985. — 555 p.

MYERS (C.), MALMQUIST (A.). — Computer sampling simulator, pp. 471-481. In : Proceedings of a workshop on forest resource inventories / W.W. Frayer Ed. — Fort Colins (Colorado) : Colorado State University - Department of Forest and Wood Sciences, 1985. — 1037 p.

PELZ (D.R.). — IFSAS : The Illinois forest sampling simulator. — University of Illinois, Forest Research Report 76-1, 1976. — 4 p.

RIPLEY (T.H.), YANDLE (D.O.). — A system analysis-ecological control approach to multi-resource forest management. — *Journal of Forestry*, 67, 1969, pp. 806-809.

SCHMOLDT (D.L.), MARTIN (G.L.). — Development and evaluation of an expert system for diagnosing pest damage of red pine in Wisconsin. — *Forest Science*, vol. 35, n° 2, 1989, pp. 364-387.

STAHELIN (R.). — A slide rule method as a substitute for straight axis alinement charts. — *Journal of Forestry*, vol. 37, 1939, pp. 775-777.

THORTON (P.L.). — Compartment IBM records and photomaps. — *Journal of Forestry*, vol. 60, 1962, pp. 112-114.